Iranian Journal of Pulses Research
Homepage: https://ijpr.um.ac.ir
Vol. 13, No. 2, December 2022, p. 121-138
Original Research; DOI: 10.22067/ijpr.v13i2.2202-1025

پژوهش‌های حبوبات ایران
سال(دوره) ۱۳ شمارهٔ ۲، نیمهٔ دوّم ۱۴۰۱
صفحهٔ ۱۳۸-۱۲۱، نوع مقاله: پژوهشی

استفاده از کود نیتروژن و تراکم بوته باقلا در تناوب به عنوان منابع تأمین نیتروژن در تولید پایدار ذرت علوفه‌ای

سمانه قربی[۱]، علی عبادی[۲]*، سعید خماری[۳] و مسعود هاشمی[۴]

۱- دانشجوی دکتری رشته زراعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل؛ smn.ghorbi.ch@gmail.com
۲- استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل؛ ali.ebadi.khazineh@gmail.com
۳- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل؛ saeid.khomari@gmail.com
۴- استاد گروه علوم خاک و فیزیولوژی گیاهان زراعی، عضو هیئت علمی دانشگاه ماساچوست، آمریکا؛ masoud@umass.edu

تاریخ‌ها:
دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۲۳، **بازنگری:** ۱۴۰۱/۰۴/۲۰، **پذیرش:** ۱۴۰۱/۰۶/۱۴؛ **انتشار آنلاین مقاله:** ۱۴۰۱/۱۰/۰۱

نحوه ارجاع به مقاله:
قربی، س.، عبادی، ع.، خماری، س.، و هاشمی، م. ۱۴۰۱. استفاده از کود نیتروژن و تراکم بوته باقلا در تناوب به عنوان منابع تأمین نیتروژن در تولید پایدار ذرت علوفه‌ای. پژوهش‌های حبوبات ایران ۱۳(۲): ۱۳۸-۱۲۱.

چکیده

گنجاندن حبوبات در سیستم‌های زراعی برای مدیریت پایدار سیستم‌های کشاورزی و کاهش نیاز به مصرف کود نیتروژن در تولید ذرت ضروری است. از این‌رو آزمایشی با هدف بررسی تأثیر تراکم‌های مختلف باقلا (۲۰، ۳۵، ۴۰ و ۸۰ بوته) در تناوب با ذرت علوفه‌ای و کاربرد سطوح مختلف نیتروژن بر پایه اوره (صفر، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) بر خصوصیات علوفه ذرت مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین یک سطح نکاشت از باقلا به منظور بررسی اثر تراکم‌های بوته باقلا بر خصوصیات ذرت علوفه‌ای در نظر گرفته شد. نتایج تجزیه مرکب نشان داد که تراکم باقلا بر عملکرد دانه، تعداد و وزن خشک گره در ریشه، وزن خشک ریشه، ارتفاع بوته، شاخص کلروفیل و شاخص باروری در باقلا معنی‌دار بود. بر اساس نتایج مقایسات میانگین تراکم ۸۰ بوته باقلا با میانگین ۳۷۶/۵ گرم در مترمربع دارای بیشترین عملکرد دانه بود. بیشترین شاخص کلروفیل نیز در تراکم ۸۰ بوته باقلا با میانگین ۳۵/۸ مشاهده شد و تراکم ۸۰ و ۴۰ بوته باقلا به ترتیب با میانگین ۱۶۷۶/۸ و ۱۵۶۵/۱ دارای بیشترین شاخص باروری بودند. اثر متقابل تراکم باقلا و کود نیتروژن بر تعداد برگ در بوته، ارتفاع بوته، شاخص کلروفیل، کارآیی جذب نیتروژن و عملکرد خشک علوفه در ذرت علوفه‌ای معنی‌دار شد. بر اساس مقایسات میانگین، تراکم ۴۰ بوته باقلا+۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار دارای بیشترین عملکرد خشک علوفه ذرت (۲/۳ کیلوگرم در مترمربع)، بیشترین ارتفاع بوته (۱۷۵/۸ سانتی‌متر) و بیشترین شاخص کلروفیل (۴۶/۲) بود. تراکم ۳۵بوته باقلا+۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار با میانگین ۱۶/۳ درصد نیز دارای بیشترین شاخص برداشت پروتئین در ذرت علوفه‌ای بود. همچنین نتایج نشان داد که بیشترین میزان کارآیی جذب نیتروژن ذرت از تراکم‌های ۲۵، ۳۵ و ۴۰بوته باقلا در شرایط عدم مصرف کود به‌دست آمد. به‌طور کلی نتایج نشان داد که قرارگیری باقلا در تناوب به همراه استفاده از کود نیتروژن باعث بهبود عملکرد و صفات کمی در ذرت علوفه‌ای شد.

واژه‌های کلیدی: حبوبات؛ سیستم بدون شخم؛ کارآیی جذب نیتروژن؛ کود شیمیایی

مقدمه

نیتروژن یکی از مهم‌ترین عناصر مورد نیاز برای بهبود رشد و افزایش عملکرد ذرت است (Liu *et al*., 2021) و تولید فشرده این گیاه به مقادیر بالای کود نیتروژن نیاز دارد (Iqbal *et al*., 2016; Demari *et al*., 2016; Liu *et al*., 2021). از سویی استفاده طولانی‌مدت از سطوح بالای کود نیتروژنی علاوه بر این که نیازمند مصرف انرژی بالایی است و از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نیست، باعث ایجاد مشکلات عمده زیست‌محیطی نیز می‌گردد (Liu *et al*., 2017). یکی از بهترین روش‌ها برای حل این مشکل و افزایش پایداری در سیستم‌های کشاورزی، استفاده از روش‌هایی نظیر تناوب زراعی است (Chen *et al*., 2018). تناوب‌های زراعی غالباً شامل حبوبات هستند، زیرا این گیاهان قابلیت تثبیت بیولوژیک نیتروژن را دارند و از سویی دیگر باعث افزایش حاصلخیزی

* نویسنده مسئول: ali.ebadi.khazineh@gmail.com

خاک می‌شوند (Ojiem *et al*., 2014). همچنین بقایای حبوبات پس از تجزیه توسط میکروارگانیسم‌های خاک قابلیت دسترسی نیتروژن را برای گیاه بعدی افزایش می‌دهند (Xiao *et al*., 2013). Entz *et al*, (2002) در گزارشی بیان کردند که عملکرد ذرت در تناوب با حبوبات افزایش پیدا کرد. همچنین در گزارش ارائه‌شده توسط Harries *et al*, (2013) مشخص شد که استفاده از حبوبات در تناوب با ذرت باعث کاهش نیاز به مقادیر بالای کود نیتروژنی در این گیاه شد. باقلا (*Vicia faba* L.) یکی از مهم‌ترین گونه‌های کشت‌شده از خانواده حبوبات (Fabaceae) است که حاوی ۳۰-۲۴ درصد پروتئین و ۶۸-۵۱ درصد کربوهیدرات می‌باشد و مانند سایر گیاهان این خانواده دارای قابلیت تثبیت بیولوژیک نیتروژن است و از این طریق می‌تواند باعث بهبود حاصلخیزی خاک و افزایش بهره‌وری زمین‌های کشاورزی گردد. بر اساس نتایج به دست‌آمده توسط Jensen *et al*, (2010) کارآیی بالای باقلا در ایجاد همزیستی با باکتری ریزوبیوم و تثبیت بیولوژیک نیتروژن باعث کاهش نیاز به مصرف کودهای شیمیایی و افزایش فعالیت بیولوژیک خاک در سیستم تناوبی و کشت مخلوط شده است. El-Gizawy (2009) در گزارشی بیان کرد که حداکثر عملکرد دانه ذرت در تناوب با باقلا به همراه کاربرد ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌دست آمد. او بیان کرد که این امر می‌تواند به دلیل بهبود مواد آلی و افزایش نیتروژن خاک توسط باقلا باشد. Beslemes *et al*, (2013) نیز در آزمایشی مشاهده کردند که استفاده از باقلا در تناوب با ذرت بدون کاربرد کود نیتروژن باعث افزایش عملکرد دانه ذرت نسبت به تیمار شاهد (عدم مصرف کود و عدم کشت باقلا) گردید. Tolera *et al*, (2016) نیز بیان کردند که استفاده از باقلا در تناوب به همراه کاربرد ۱۱۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در ذرت باعث افزایش عملکرد دانه در این گیاه شد. Beslemes *et al*, (2013) مشاهده کردند که حداکثر عملکرد خشک علوفه ذرت از کاربرد ۲۴۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به همراه استفاده از باقلا به عنوان پیش‌کاشت به‌دست آمد. ایشان همچنین بیان کردند که استفاده از تناوب باقلا-ذرت در زمان عدم مصرف کود نیتروژن باعث افزایش عملکرد و افزایش بازیافت نیتروژن در ذرت به ترتیب به میزان ۸/۳ درصد و ۱۵-۱۰ درصد نسبت به تیمار شاهد می‌شود. Uzoh *et al*, (2019) نیز در آزمایش خود مشاهده کردند که حداکثر عملکرد ذرت در تناوب با حبوبات به همراه کاربرد ۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌دست آمد.

شخم‌زدن مکرر خاک در طولانی‌مدت، باعث ازبین‌رفتن خاک و کاهش مواد مغذی در زمین‌های کشاورزی شده است. در این راستا، استفاده از روش‌های مختلف خاک‌ورزی حفاظتی به جای روش‌های مرسوم، بسیار توصیه می‌شود. بر اساس گزارش‌های موجود، اثرات خاک‌ورزی حفاظتی بر عملکرد ذرت بسیار متفاوت بوده است. به عنوان مثال Afzalinia & Zabihi (2014) گزارش کردند که عملکرد ذرت در سیستم بدون خاک‌ورزی در مقایسه با خاک‌ورزی متداول کاهش یافت. در مقابل گزارش‌های متعددی وجود دارد که بیان کردند عملکرد ذرت در سیستم بدون خاک‌ورزی در مقایسه با خاک ورزی متداول افزایش یافت (Issaka *et al*., 2019; Lamptey *et al*., 2018; Olojugba, &, Ibiloye, 2019; Wasaya *et al*., 2018).

با توجه به اثرات مفید قرارگیری باقلا در تناوب با سایر گیاهان زراعی و نیز استفاده از روش‌های کشاورزی پایدار به جهت کاهش اثرات مخرب زیست‌محیطی، در این آزمایش فرض بر این بود که قرارگیری باقلا در تناوب می‌تواند همزمان با بهبود سلامت خاک، نیاز به مصرف کود نیتروژن را در ذرت علوفه‌ای کاهش دهد. از سویی دیگر این آزمایش با هدف شناسایی تراکم مطلوب بوته در باقلا و میزان مناسب مصرف کود نیتروژن در ذرت علوفه‌ای و اثرات متقابل این دو عامل بر عملکرد خشک علوفه‌ی ذرت انجام پذیرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت دو ساله و طی سال‌های ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷ به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی با دو عامل و سه تکرار در مزرعه‌ی تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی واقع در روستای بابلان با شرایط اقلیمی سرد و خشک و مختصات جغرافیایی ۳۸ درجه و ۱۵ دقیقه‌ی عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی و ارتفاع ۱۳۵۰ متر از سطح دریا به اجرا درآمد. خصوصیات خاک محل انجام آزمایش و شرایط آب و هوایی منطقه به ترتیب در جدول‌های شماره ۱ و ۲ نشان داده شده است. خاک منطقه از نوع لومی و به ترتیب دارای ۳۵، ۴۲ و ۲۳ درصد شن، سیلت و رس بود. عامل‌های مورد مطالعه شامل تراکم مختلف بوته در باقلا (۲۵، ۳۵، ۴۰ و ۸۰ بوته) (Al-Suhaibani *et al*., 2013) و سطوح مختلف نیتروژن بر پایه کود اوره در ذرت علوفه‌ای (صفر، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) (Lamptey *et al*., 2018) بود. همچنین یک سطح نکاشت از باقلا به‌منظور بررسی اثر تراکم‌های بوته باقلا بر خصوصیات ذرت علوفه‌ای نیز در نظر گرفته شد. در این آزمایش، اندازه پلات‌ها ۳ در ۴ متر بود که به منظور جلوگیری از اختلاط اثر کودها با فاصله یک متری از یکدیگر جدا شدند.

فاصله بین بلوک‌ها نیز یک متر در نظر گرفته شد. شادان، رقم باقلا کشت‌شده در این آزمایش بود که در سال ۱۳۹۶ توسط مؤسسه اصلاح بذر و نهال ایران معرفی شد. از خصوصیات این رقم می‌توان به پتانسیل عملکرد بالا، قابلیت برداشت مکانیزه و نیز درصد پروتئین بالا اشاره نمود. بذور باقلا در هر دو سال پس از خیساندن با آب و تلقیح با باکتری ریزوبیوم *Rhizobium leguminosarum* var *viciae* (Siczek & Lipiec, 2016) در تاریخ سوم اسفند کشت شدند. همچنین، از ۲۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به منظور بهبود گره‌زایی در باقلا در مرحله رشد رویشی این گیاه استفاده شد (Mohamed & Babiker, 2012). لازم به ذکر است که باقلا برای نخستین‌بار در منطقه مورد نظر کشت گردید. کنترل علف‌های هرز از مرحله‌ی سبزشدن تا رشد رویشی باقلا و به منظور استقرار بهتر گیاه به‌صورت دستی انجام پذیرفت و پس از آن هیچ کنترلی اعم از فیزیکی و شیمیایی بر جمعیت علف‌های‌هرز صورت نگرفت (Kebede *et al.*, 2015). با توجه به این که باقلا گیاهی رشدنامحدود است، بذور آن طی دو مرحله و از یک مکان (در مرحله بلوغ فیزیولوژیک بذور) با حذف اثر حاشیه به‌صورت دستی و با استفاده از یک کوآدرات ۰/۵ متر در ۰/۵ متر برداشت گردید. پس از برداشت در مرحله دوم، بوته‌های باقلا کف‌بر شدند و بقایای آن‌ها در سطح خاک قرار گرفت.

جدول ۱- خصوصیات شیمیایی خاک منطقه در دو عمق قبل از شروع انجام آزمایش

Table 1. Soil chemical characteristics at two depths in the experimental area before planting

فصل رشد Growing season	عمق خاک (سانتی‌متر) Depth (cm)	اسیدیته خاک pH	ماده آلی خاک (گرم بر دسی متر مکعب) SOM(g dm^{-3})	روی Zn^{2+}	پتاسیم K^{+}	فسفر P	نیتروژن کل (٪) Total Nitrogen (%)	آهک CAO	عصاره اشباع (٪) base saturation(%)
				(میلی‌گرم بر کیلوگرم) (mg kg^{-1})					
۱۳۹۶-۹۷ (2018)	(0-15)	7.8	1.3	18	212	8.29	0.06	14.4	49
	(15-30)	7.6	0.7	13	143	6.5	-	-	-
۱۳۹۷-۹۸ (2019)	(0-15)	7.9	1.3	19	220	8.9	0.06	14.5	48
	(15-30)	7.7	0.7	15	152	6	-	-	-

جدول ۲- داده‌های هواشناسی منطقه در طول دوره آزمایش

Table 2. Local meteorological data during the study period

ماه Month	مجموع بارش (میلی‌متر) Rain (mm)		دمای حداکثر (سانتی‌گراد) Max. temp. (°C)		دمای حداقل (سانتی‌گراد) Min. temp. (°C)		تشعشعات دریافتی (مگاژول برمترمربع) Radiation received (MJm^{-2})		رطوبت نسبی (٪) Relative humidity (%)	
	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019
اسفند March	26.5	25.9	12.4	9.5	1.5	-1.3	157.5	173.6	73	71
فروردین April	9.3	40	15.7	13.4	2.3	2.6	170.9	163	66	73
اردیبهشت May	60.3	29.5	18.6	19.8	5.9	5.0	196.3	258.1	71	63
خرداد June	28.2	13	23.5	25.7	10.0	9.5	248.6	287.7	71	58
تیر July	3.9	0.1	29.2	25.7	13.7	11.8	344.2	336	60	62
مرداد August	0.9	0	25.8	26.7	14.9	12.6	255.6	314.1	69	61
شهریور September	7.3	18.8	24.6	22.5	10.5	10.2	282.1	213.2	68	71
مهر October	9.0	53.3	20.1	23.0	8.1	7.8	193.4	240.6	76	66

بلافاصله پس از برداشت باقلا و بدون شخم‌زدن زمین، بذور ذرت به‌صورت دستی و با تراکم ۸۰۰۰۰ بوته در هکتار در میان ردیف‌های بقایای باقلا (Naderi *et al.*, 2010) در تاریخ‌های سوم تیرماه ۱۳۹۷ و پنجم تیرماه ۱۳۹۸ کشت گردید. رقم ذرت کشت‌شده در این آزمایش یک هیبرید زودرس ذرت به نام KSC201 بود. این رقم در سال ۱۳۹۵ توسط مؤسسه اصلاح بذر و نهال ایران معرفی شد. به‌صورت میانگین، بذور هر دو گیاه در هر دو سال، ۷ روز پس از کاشت سبز شدند. با توجه به شرایط آهکی خاک که در جدول ۱ نشان داده شده است و غیرقابل‌دسترس‌شدن آهن، محلول‌پاشی آهن در سه مرحله و با فاصله زمانی ۱۰روز با Fe-EDTA انجام پذیرفت (Ghazvineh & Yousefi, 2012; Chen & Barak, 1982). کود نیتروژن به‌صورت اوره و پخش سطحی، از مرحله V_5، طی سه مرحله و با فاصله ۱۰روز استفاده شد (Sangoi *et al.*, 2007). ذرت علوفه‌ای ۱۰۰ روز پس از کاشت و به‌دلیل خنک‌شدن هوا در مرحله شیری برداشت گردید. بذور مورد استفاده در این آزمایش برای هر دو گیاه و در هر دو سال از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل تهیه شدند. درصد جوانه‌زنی در هر دو محصول و در هر دو سال بالای ۹۸ درصد بود. در هر دو سال و در هر دو محصول زراعی، در ابتدای مرحله زایشی شته‌ها ظاهر شدند که جمعیت آنها به‌صورت طبیعی توسط کفشدوزک‌ها کنترل شد. مکان انجام این آزمایش در هر دو سال در یک مزرعه، ولی در دو قطعه‌ی مجاور هم بود. هر دو قطعه زمین سال قبل از انجام این آزمایش به‌صورت آیش و با غالبیت علف‌های هرز پهن‌برگ یکساله‌ای مانند *Amaranthus retroflexus* L. و *Chenopodium album* رها شده بودند. در طول فصل رشد هر دو گیاه زراعی و در هر دو سال از هیچ گونه علف‌کش، آفت‌کش و کود شیمیایی (غیر از تیمار نیتروژن مربوط به ذرت) و آلی استفاده نشد. آبیاری در طول فصل رشد هر دو گیاه زراعی و در هر دو سال به‌صورت کرتی و منظم و بر اساس نیاز گیاه، شرایط آب و هوایی و خاکی منطقه بود.

صفات مورد مطالعه در هر دو سال در باقلا شامل عملکرد دانه، تعداد و وزن خشک گره در ریشه، وزن خشک ریشه، ارتفاع بوته، درجه باردهی[1] و شاخص کلروفیل بود و در ذرت علوفه‌ای شامل تعداد برگ در بوته، ارتفاع بوته، شاخص برداشت پروتئین، شاخص کلروفیل، کارآیی جذب نیتروژن، کارآیی فیزیولوژیک نیتروژن و عملکرد خشک علوفه بود. برای محاسبه عملکرد دانه در باقلا (گرم در مترمربع)، بذور پس از خشک شدن در آون ۶۵ درجه به مدت ۴۸ ساعت (Berkenkamp & Meeres, 1986) توسط ترازوی دیجیتال (دقت ۰/۰۱ گرم) وزن شد. برای محاسبه تعداد و وزن خشک گره‌ها (گرم) (Tadayyon & Ghorbaninejad, 2012) و وزن خشک ریشه باقلا (گرم در مترمربع)، ۵ عدد بوته باقلا به همراه ریشه و در مرحله ۵۰درصد گلدهی از عمق نیم‌متری خاک به دقت خارج و پس از انتقال به آزمایشگاه و حذف خاک و شستشوی ریشه‌ها، برای شمارش تعداد گره‌ها (فعال+غیرفعال) به زیر میکروسکوپ چشمی منتقل شده و پس از جداکردن گره‌ها از ریشه‌ها در آون ۷۰ درجه به مدت ۷۲ساعت خشک شدند. درجه باردهی با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد. این صفت بدون واحد می‌باشد (Khalghani & Koocheki, 1996):

(۱)

عملکرد دانه+عملکرد بیولوژیک+شاخص برداشت =درجه باردهی

برای محاسبه شاخص کلروفیل برگ از دستگاه SPAD مدل SPAD-502, Konica Minolta Sensing Ivc. (Japan) در مرحله نمو هر دو گیاه استفاده شد. بدین صورت که در هر دو گیاه از برگ‌های بالایی، پایینی و برگ‌های وسطی و از سه نقطه هر برگ بالغ، اندازه‌گیری صورت پذیرفت. شاخص برداشت پروتئین از تقسیم عملکرد پروتئین بر زیست‌توده به دست آمد (Seyedi *et al*., 2012). برای محاسبه عملکرد خشک علوفه ذرت (کیلوگرم در مترمربع) و همچنین تعداد برگ و ارتفاع بوته (سانتی‌متر) در ذرت، پس از حذف اثر حاشیه سه عدد بوته به‌صورت تصادفی انتخاب و از نزدیک سطح خاک بریده شدند و پس از آن بوته‌ها به آزمایشگاه منتقل گردید. در ابتدا تعداد برگ‌ها شمارش شده و پس از آن ارتفاع بوته توسط متر اندازه‌گیری شد. در ادامه، بوته‌ها در آون ۷۵ درجه به مدت ۷۲ ساعت خشک (Perry & Compton, 1977) و وزن آنها توسط ترازو اندازه‌گیری شد و در نهایت عدد به‌دست‌آمده به مترمربع تعمیم داده شد. کارآیی جذب نیتروژن (Huggins *et al*., 1993) و کارآیی فیزیولوژیک نیتروژن (Abbasi *et al*., 2010) با استفاده از معادلات زیر به‌دست آمد:

$$\text{کارآیی جذب نیتروژن} = \frac{\text{مجموع نیتروژن کل گیاه}}{\text{مجموع نیتروژن خاک}} \quad (۲)$$

$$\text{کارآیی فیزیولوژیک نیتروژن} = \frac{\text{ماده‌ی خشک تیمار شاهد} - \text{ماده‌ی خشک تیمار حاوی کود}}{\text{جذب نیتروژن تیمار شاهد} - \text{جذب نیتروژن تیمار حاوی کود}} \quad (۳)$$

مجموع نیتروژن خاک: مقدار نیتروژن تثبیت شده توسط باقلا در هر تراکم+مقدار کود مصرفی در هر کرت+میزان نیتروژن اولیه در خاک

1. Fertility rate

با استفاده از روش دفن‌کردن بقایا (Etemadi *et al.*, 2018) میزان نیتروژن تثبیت‌شده در هر تراکم باقلا محاسبه شد. در ابتدا، ۱۰۰گرم نمونه ریشه و بافت هوایی باقلا از تراکم های مختلف (مجموع ۱۶۸ عدد نمونه ریشه و بافت هوایی) داخل کیسه‌های مشبک نایلونی به ابعاد ۲۰×۱۰ سانتی‌متر قرار گرفتند. نمونه‌های ریشه در عمق ۳۰سانتی‌متری خاک مزرعه دفن و نمونه‌های بافت هوایی روی سطح خاک قرار گرفتند. یک هفته پس از آن، نمونه‌برداری آغاز شد و به‌صورت هفتگی تا پایان مرحله برداشت ذرت ادامه یافت. نمونه‌ها پس از هر مرحله نمونه‌برداری، به خوبی پاک و در آون خشک و سپس آسیاب شدند. در ادامه، نمونه‌های آسیاب‌شده با ذکر مشخصات دقیق آنها، در بسته‌های جداگانه به آزمایشگاه مرکزی دانشگاه محقق اردبیلی جهت اندازه‌گیری درصد نیتروژن (روش کجلدال) فرستاده شدند. میزان نیتروژن تثبیت شده در هر تراکم باقلا، از مجموع نیتروژن رهاشده از بقایای باقلا در هر هفته به‌دست آمد.

محاسبات آماری پس از آزمون بارتلت، با نرم‌افزار SAS 9.4 صورت پذیرفت. آزمون بارتلت نیز با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.4 محاسبه شد. در این آزمایش سال به عنوان عامل تصادفی و تیمارها (تراکم بوته و سطوح نیتروژن) به عنوان عامل ثابت در نظر گرفته شدند. مقایسه میانگین‌ها با آزمون چنددامنه ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. تعیین مدل‌های رگرسیون مورد استفاده در این مطالعه با استفاده از نرم‌افزار Excel 2016صورت گرفت. مدل‌ها بر اساس روند تغییرات صفات و بالاترین ضریب تبیین انتخاب شدند.

نتایج و بحث

باقلا

عملکرد دانه

بر اساس نتایج تجزیه واریانس مرکب، اثر تراکم باقلا بر عملکرد دانه آن در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسات میانگین نیز نشان داد که بیشترین عملکرد دانه، از تراکم ۸۰ بوته باقلا به‌دست آمد که نسبت به تراکم ۲۵ بوته باقلا (کمترین میزان عملکرد)، افزایش ۹۵درصدی نشان داد (جدول ۴).

نتایج معادلات رگرسیونی عملکرد دانه نیز نشان داد در تراکم‌های ۲۵ تا ۸۰ بوته باقلا تغییرات عملکرد دانه به‌صورت معادله درجه دوم با ضریب تبیین ۰/۸۳ بود. در تراکم‌های بالا به‌دلیل افزایش رقابت بین بوته‌ها برای جذب نور و عناصر غذایی، عملکرد و اجزای عملکرد در تک بوته کاهش پیدا می کند، اما به‌دلیل افزایش تعداد بوته در واحد سطح این کاهش در میزان عملکرد جبران خواهد شد. در تراکم‌های پایین نیز هر بوته در حداکثر ظرفیت خود عمل می‌نماید، اما این نکته نیز دارای اهمیت است که جمعیت کل گیاهی برای رسیدن به حداکثر عملکرد می‌تواند کافی نباشد. به عبارتی، در تراکم‌های پایین، افزایش اجزای عملکرد نمی‌تواند تعداد پایین بوته در واحد سطح را جبران نماید. Prusiński (2022) گزارش کرد که با افزایش تراکم بوته، میزان عملکرد در باقلا افزایش یافت.

تعداد و وزن خشک گره‌ها، وزن خشک ریشه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر تراکم باقلا بر تعداد و وزن خشک گره‌ها در ریشه و نیز وزن خشک ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌داری شد (جدول ۳). بر اساس نتایج مقایسات میانگین (جدول ۴) بیشترین تعداد گره در ریشه از تراکم ۲۵ و ۳۵ بوته باقلا به دست آمد که افزایشی بین ۵۹-۵۳ درصد نسبت به تراکم ۸۰بوته (کمترین میزان تعداد گره) از خود نشان دادند. همچنین نتایج مقایسات میانگین نشان داد که تراکم ۲۵ بوته باقلا دارای بیشترین وزن خشک گره و تراکم ۸۰ بوته باقلا دارای کمترین وزن خشک گره در بوته بودند. میزان افزایش این صفت در تراکم ۲۵ بوته باقلا نسبت به تراکم ۸۰ بوته ۶۴درصد بود (جدول ۴). بر اساس نتایج مقایسات میانگین، بیشترین وزن خشک ریشه باقلا از تراکم ۸۰ بوته به‌دست آمد که نسبت به تراکم ۲۵ بوته باقلا که دارای کمترین وزن خشک ریشه بود افزایش ۹۷ درصدی از خود نشان داد (جدول ۴). نتایج معادلات رگرسیونی تعداد گره در ریشه، وزن خشک گره و وزن خشک ریشه نیز نشان داد که در تراکم‌های ۲۵ تا ۸۰بوته باقلا تغییرات این صفات به‌صورت معادله‌ی درجه دوم بود که به‌ترتیب دارای ضریب تبیین ۰/۹۴۱، ۰/۹۹۱ و ۰/۹۴۳ بودند (جدول ۴).

در تراکم‌های پایین‌تر، میزان فتوسنتز در هر بوته افزایش می‌یابد، در نتیجه انتقال کربن به گره‌ها، میزان گره‌زایی، وزن خشک گره‌ها و نیز نرخ تثبیت نیتروژن افزایش خواهد یافت. Gezahegn (2019) گزارش کرد که افزایش تراکم بوته در باقلا باعث کاهش تعداد گره در ریشه این گیاه شد. او دلیل این امر را افزایش رقابت درون و بین گونه‌ای در گیاهان بر سر منابع غذایی دانست.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس مرکب دو ساله تغییرات برخی ویژگی‌های باقلا در تراکم‌های مختلف

Table 3. Results of combined analysis of variance on some faba bean characteristics in different densities

منابع تغییرات	Source of variance	درجه آزادی df	عملکرد دانه Grain Yield	تعداد گره در ریشه Number of Root Nodule	وزن خشک گره در بوته Dry Root Nodule per Weight of plant	وزن خشک ریشه Root Dry Weight	ارتفاع بوته Plant Height	شاخص کلروفیل Chlorophyll Index	درجه باردهی Fertility rate
سال	Year	1	7262.8^{ns}	70.0^{ns}	0.007^{ns}	38640.4^{ns}	1.5^{ns}	4.1^{ns}	7285.7^{ns}
سال × تکرار	Year × Replication	4	1344.4^{ns}	21.8^{ns}	0.002^{ns}	6890.0^{ns}	35.0^{ns}	11.2^{ns}	51059.0^{ns}
تراکم بوته باقلا	Faba bean density	3	51185.6^{**}	317.4^{**}	0.01^{**}	349032.4^{**}	212.3^{**}	30.5^{**}	682674.8^{**}
سال × تراکم باقلا	Year × Faba bean density	3	39.5^{ns}	3.0^{ns}	0.0003^{ns}	3734.4^{ns}	0.06^{ns}	0.6^{ns}	9927.1^{ns}
خطا	Error	12	1068.8	35.2	0.001	8990.0	26.6	7.8	28844.0
ضریب تغییرات	C.V (%)	—	11.2	16.1	18.2	11.9	7.0	8.5	12.7
بارتلت	Bartlett	1	0.05^{ns}	0.0006^{ns}	0.698^{ns}	0.464^{ns}	0.043^{ns}	0.039^{ns}	0.96^{ns}

^{ns} و * و ** به ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

**, * and ^{ns} significantly difference at $p< 0.01$ and $p< 0.05$ and not significant respectively.

جدول ۴- مقایسه میانگین و مدل رگرسیونی اثر تراکم باقلا بر برخی صفات آن

Table 4. Mean comparisons and regration equations d of faba bean density effects on its traits

صفات Traits	Faba bean density (per m^{-2}) (تراکم بوته (در متر مربع) 25	 35	 40	 80	معادله رگرسیون Reg. Eq.	ضریب تبیین (R^2)
عملکرد دانه (گرم در مترمربع) Grain yield (g m^{-2})	193.4±10.9[b]	233.5±10.8[c]	364.8±18.5[b]	376.5±12[a]	$y = -0.1546\times D^2+19.836\times D - 219.94$	0.830
تعداد گره در ریشه (بوته) Number of root nodule (per plant)	43.2±2.6[a]	41.7±2.5[a]	35.5±1.8[b]	27.2±1.8[c]	$y = 0.0033\times D^2 - 0.6544\times D+58.124$	0.941
وزن خشک گره‌ها در هر بوته (گرم) Dry weight of root nodule per plant (g)	0.23±0.01[a]	0.21±0.01[ab]	0.19±0.01[b]	0.14±0.01[c]	$y = 0.00002\times D^2 - 0.0039\times D+0.3154$	0.991
وزن خشک ریشه (گرم در منرمربع) Root dry weight (g m^{-2})	558±38.2[c]	652.5±35.4[c]	870±34[b]	1099±48.1[a]	$y = -0.2019\times D^2+ 31.449\times D - 123.25$	0.943
ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	67.5±1.6[c]	70±2.1[bc]	74.8±1.9[b]	81±2.2[a]	$y = -0.0045\times D^2+0.7283\times D+51.67$	0.959
شاخص کلروفیل Chlorophyll index	30.6±0.9[c]	31.7±1.1[bc]	32.7±1.1[b]	35.8±1.3[a]	$y = -0.0009\times D^2+0.1938\times D+26.28$	0.994
درجه باردهی Fertility rate	993.6±103.8 b	1100.4±64.7[b]	1565.1±51.6[a]	1676.8±44.1[a]	$y = -0.468\times D^2+62.57\times D - 329.15$	0.832

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک، بر اساس آزمون دانکن، تفاوت معنی‌داری (در سطح احتمال پنج درصد) ندارند.

Similar letter in each column indicate no significant difference at 5% probability level using Duncan's multiple range test.

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که ارتفاع بوته در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر تراکم باقلا قرار گرفت (جدول ۳). بر اساس نتایج مقایسات میانگین بیشترین و کمترین ارتفاع بوته به ترتیب از تراکم ۸۰ و ۲۵ بوته باقلا به دست آمد که میزان افزایش این صفت در تراکم ۸۰ بوته باقلا نسبت به تراکم ۲۵ بوته، حدود ۲۰ درصد بود (جدول ۴). نتایج معادلات رگرسیونی نیز نشان داد، در تراکم‌های ۲۵ تا ۸۰ بوته باقلا تغییرات ارتفاع بوته به‌صورت معادله درجه‌ی دوم با ضریب تبیین ۰/۹۵۹ بود. به نظر می‌رسد به‌دلیل افزایش تراکم، رقابت برای جذب نور بیشتر شده، در نتیجه گیاهان ارتفاع بیشتری خواهند داشت. به عبارت دیگر گیاهان با افزایش فاصله میان گره‌های خود سعی در جذب بیشتر نور خورشید دارند. Khalil *et al*, (2010) و Singh *et al*, (2013) در آزمایشی جداگانه بیان کردند که افزایش تراکم در باقلا باعث افزایش ارتفاع در این گیاه شد. آنها پیشنهاد کردند که این افزایش در ارتفاع بوته می‌تواند به‌دلیل افزایش رقابت بین گیاهان و کاهش میزان نفوذ نور در کانوپی باشد.

شاخص کلروفیل

بر اساس نتایج تجزیه واریانس مرکب اثر تراکم باقلا بر شاخص کلروفیل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسات میانگین نشان داد که بیشترین میزان شاخص کلروفیل از تراکم ۸۰ بوته و کمترین میزان شاخص کلروفیل از تراکم ۲۵ بوته باقلا به‌دست آمد که میزان افزایش این صفت در تراکم ۸۰ بوته نسبت به تراکم ۲۵ بوته ۱۷ درصد بود (جدول ۴). بر اساس نتایج معادلات رگرسیونی نیز در تراکم‌های ۲۵ تا ۸۰ بوته باقلا تغییرات شاخص کلروفیل به‌صورت معادله درجه‌ی دوم با ضریب تبیین ۰/۹۹۴ بود (جدول ۴). Gan *et al*, (2003) بیان کردند که افزایش تراکم در نخودفرنگی از طریق افزایش سطح فتوسنتزکننده باعث افزایش میزان کلروفیل در این گیاه شد.

درجه باردهی

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر تراکم باقلا بر درجه باردهی آن در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بر اساس نتایج مقایسات میانگین تراکم‌های ۸۰ و ۴۰ بوته باقلا دارای بیشترین درجه‌ی باردهی بودند که نسبت به تراکم‌های ۳۵ و ۲۵ بوته (کمترین درجه‌ی باردهی) افزایشی بین ۶۹-۵۸ درصد نشان دادند (جدول ۴). همچنین نتایج معادلات رگرسیونی نشان داد تغییرات درجه باردهی در تراکم های ۲۵ تا ۸۰ بوته باقلا به‌صورت معادله درجه‌ی دوم با ضریب تبیین ۰/۸۳۲ بود (جدول ۴). به کمک این صفت به‌سهولت می‌توان تراکمی را که در آن حداکثر عملکرد به‌دست می‌آید، انتخاب نمود. به نظر می‌رسد این نتایج، به‌دلیل استفاده بهینه از آب و مواد غذایی و تولید مواد فتوسنتزی و در نهایت بهبود عملکرد در این تراکم‌ها، به‌دست آمد.

ذرت علوفه‌ای

عملکرد خشک علوفه

بر اساس نتایج تجزیه واریانس مرکب، عملکرد خشک علوفه ذرت تحت تأثیر تراکم باقلا، کود نیتروژن و همچنین اثر متقابل بین آنها در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول۵). نتایج مقایسات میانگین نیز نشان داد که بیشترین عملکرد خشک علوفه‌ی ذرت از تیمار ۴۰ بوته باقلا+۲۰۰کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌دست آمد که نسبت به تیمار شاهد (عدم کشت باقلا+عدم کاربرد کود نیتروژن) دارای افزایش ۱۵۵ درصدی بود (جدول ۶). همچنین نتایج معادلات رگرسیونی تغییرات عملکرد خشک علوفه در مقادیر مختلف نیتروژن نشان داد در تراکم‌های صفر تا ۴۰ بوته باقلا تغییرات عملکرد علوفه در اثر نیتروژن به صورت معادله درجه دوم با ضریب تبیین ۰/۵۸۷ تا ۰/۹۶۰ و در تراکم ۸۰ بوته در مترمربع به صورت خطی با ضریب تبیین ۰/۹۰۰ بود. با توجه به معادله خط به‌دست‌آمده مشخص شد که در شرایط عدم کاشت باقلا، مصرف نیتروژن تا ۱۹۰ کیلوگرم در هکتار افزایش عملکرد علوفه را به همراه داشت، ولی بعد از این مقدار افت عملکرد مشاهده شد. همچنین مشاهده شد که در تراکم های ۲۵، ۳۵ و ۴۰ بوته باقلا عملکرد علوفه به‌ترتیب پس از مقادیر ۱۷۰، ۱۷۵ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار افت عملکرد نشان داد. همچنین مشاهده شد که در تراکم ۸۰ بوته باقلا، مصرف نیتروژن موجب افزایش خطی عملکرد خشک علوفه شد. با توجه به شیب معادله به ازای هر ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار عملکرد علوفه ۰/۱۲ کیلوگرم در مترمربع افزایش پیدا می‌کند (جدول ۶). بالابودن عملکرد در این تیمارها نسبت به تیمار شاهد را می‌توان به افزایش نیتروژن خاک توسط این تیمارها نسبت داد که از طریق افزایش شاخص‌های رشدی و همچنین افزایش میزان کلروفیل برگ باعث افزایش جذب نور در گیاهان می‌شود و در نتیجه عملکرد خشک علوفه افزایش می‌یابد.

Vesterager *et al*, (2007) در آزمایشی بیان کردند که عملکرد ذرت در تناوب با لوبیای چشم‌بلبلی دو برابر حالت تک کشتی آن بود. Maadi *et al*, (2012) گزارش کردند که استفاده از لگوم‌ها به عنوان پیش‌کشت می‌تواند کاربرد کود شیمیایی نیتروژنی را در گندم کاهش دهد. به نظر می‌رسد آبشویی زیاد کود نیتروژن و عدم انطباق زمانی بین نیاز حداکثری گیاه به این عنصر با زمان حداکثری وجود این عنصر در خاک سبب کاهش عملکرد در سطوح بالاتر کود نیتروژن و همچنین تراکم ۸۰ بوته باقلا شده است.

تعداد برگ در بوته

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر ساده تراکم باقلا، کود نیتروژن و اثر متقابل تراکم باقلا و کود نیتروژن بر تعداد برگ در ذرت علوفه‌ای در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). بر اساس نتایج مقایسات میانگین تیمارهای تراکم ۳۵ بوته باقلا+۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، تراکم ۲۵ بوته باقلا+۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و تراکم ۲۵ بوته باقلا+۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار دارای بیشترین تعداد برگ در بوته بودند که نسبت به تیمار شاهد افزایش ۳۸درصدی از خود نشان دادند (جدول ۶). همچنین نتایج معادلات رگرسیونی تغییرات تعداد برگ در بوته در مقادیر مختلف نیتروژن نشان داد در تراکم صفر بوته باقلا تغییرات تعداد برگ در بوته در اثر نیتروژن به‌صورت معادله خطی با ضریب تبیین ۰/۹۵۲ بود و در تراکم‌های ۲۵ تا ۸۰ بوته باقلا به صورت معادله درجه دوم با ضریب تبیین ۰/۶۶۹ تا ۰/۹۹۹ بود. همچنین مشاهده شد که در تراکم صفر بوته باقلا، مصرف نیتروژن موجب افزایش خطی تعداد برگ در بوته شد. با توجه به شیب معادله به ازای هر ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار تعداد برگ در بوته ۰/۸۲ افزایش پیدا می‌کند. در تراکم‌های ۲۵، ۳۵، ۴۰ و ۸۰ بوته باقلا نیز تعداد برگ در بوته به‌ترتیب پس از مقادیر ۱۷۵، ۱۵۹، ۱۴۲ و ۱۷۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار افت نشان داد (جدول ۶). نیتروژن از عوامل اصلی در تشکیل کلروفیل است و در صورت کمبود این عنصر در گیاه عمل تشکیل کلروفیل مختل خواهد شد. به نظر می‌رسد افزایش تعداد برگ در بوته در این سطوح تیماری به‌دلیل افزایش عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن در خاک و جذب بیشتر آنها توسط گیاه ذرت باشد که این امر منجر به افزایش تقسیم سلول و افزایش میزان جریان عناصر غذایی به این بخش از گیاه شده که در نتیجه این امر تعداد برگ در بوته افزایش می‌یابد (Dolatmand Shahri & Tahmasebi, 2017).

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر تراکم باقلا، سطوح مختلف کود نیتروژن و اثر متقابل آنها بر ارتفاع بوته ذرت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). بر اساس نتایج مقایسات میانگین بیشترین ارتفاع بوته از تیمارهای تراکم ۴۰ بوته باقلا+۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و تراکم ۴۰ بوته باقلا+۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌دست آمد که نسبت به تیمار شاهد افزایش ۲۳ درصدی از خود نشان دادند (جدول ۶). نتایج معادلات رگرسیونی تغییرات ارتفاع بوته در مقادیر مختلف نیتروژن نشان داد که در تراکم‌های صفر تا ۸۰ بوته

باقلا تغییرات ارتفاع بوته در اثر نیتروژن به صورت معادله درجه دوم با ضریب تبیین ۰/۷۵۴ تا ۰/۹۹۷ بود. با توجه به معادله خط به‌دست‌آمده مشخص شد که در شرایط عدم کاشت باقلا، مصرف نیتروژن تا ۲۰۷ کیلوگرم در هکتار باعث افزایش تعداد برگ در بوته شد، ولی بعد از این مقدار افت عملکرد مشاهده گردید. همچنین در تراکم‌های ۲۵، ۳۵، ۴۰ و ۸۰ بوته باقلا ارتفاع بوته به‌ترتیب پس از مقادیر ۱۴۵، ۱۸۱، ۱۲۱ و ۱۳۹ کیلوگرم نیتروژن در هکتار افت نشان داد (جدول ۶). به نظر می‌رسد این سطوح تیماری از طریق بهبود جذب عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن خاک باعث افزایش سنتز و جذب مواد غذایی در گیاه شدند که در نتیجه این عمل، طول میان‌گره‌ها و ارتفاع بوته افزایش یافت (Hamzei *et al*., 2015). Afzal *et al*, (2012) و Ansarinia (2010) گزارش کردند که کاربرد کود نیتروژن به ترتیب در سورگوم و آفتاب‌گردان باعث افزایش ارتفاع بوته در این گیاه شد.

شاخص برداشت پروتئین

بر اساس نتایج تجزیه واریانس مرکب اثر تراکم باقلا و اثر متقابل تراکم باقلا و کود نیتروژن بر شاخص برداشت پروتئین به ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار بود، اما اثر کود نیتروژن بر این صفت معنی‌دار نشد (جدول ۵). بررسی مقایسات میانگین نشان داد که تیمار تراکم ۳۵ بوته باقلا+۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار دارای بیشترین شاخص برداشت پروتئین بود که نسبت به تیمار شاهد افزایش ۱۹۶ درصدی از خود نشان داد (جدول ۶). همچنین نتایج معادلات رگرسیونی تغییرات شاخص برداشت پروتئین در مقادیر مختلف نیتروژن نشان داد که در تراکم‌های صفر تا ۴۰ بوته باقلا تغییرات شاخص برداشت پروتئین در اثر نیتروژن به صورت معادله خطی با ضریب تبیین ۰/۸۹۰ تا ۰/۹۸۷ و در تراکم ۸۰ بوته باقلا به صورت معادله درجه دوم با ضریب تبیین ۰/۹۴۰ بود. همچنین مشاهده شد که در تراکم صفر تا ۴۰ بوته باقلا، مصرف نیتروژن موجب افزایش خطی شاخص برداشت پروتئین شد. با توجه به شیب معادله در تراکم‌های صفر، ۲۵، ۳۵ و ۴۰ بوته باقلا به ازای هر ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار شاخص برداشت پروتئین، به ترتیب ۱/۵، ۱/۴، ۱/۶ و ۰/۷۵ درصد افزایش پیدا می‌کند. همچنین با توجه به معادله خط به‌دست‌آمده مشخص شد که در تراکم ۸۰ بوته باقلا، مصرف نیتروژن تا ۶۰ کیلوگرم در هکتار افزایش شاخص پروتئین را به همراه داشته، ولی بعد از این مقدار افت مشاهده گردید (جدول ۶). به نظر می‌رسد که کاشت باقلا از طریق فرآیند تثبیت بیولوژیک نیتروژن باعث افزایش نیتروژن خاک شده و افزایش جذب نیتروژن توسط گیاهان باعث افزایش میزان کلروفیل و در نهایت افزایش پروتئین در گیاه می‌شود (Hatfield & Prueger, 2004).

جدول ۵- نتایج تجزیه مرکب دو ساله برخی ویژگی‌های ذرت علوفه‌ای تحت تأثیر تراکم بوته باقلا و کود نیتروژن

Table 5. Results of combined analysis of variance on some traits of forage corn at faba bean plant densities and N fertilizer

منابع تغییرات	Source of variance	درجه آزادی df	عملکرد خشک علوفه **Dry forage yeid**	تعداد برگ در بوته **Number of leaves per plant**	ارتفاع بوته **Plant height**	شاخص برداشت پروتئین **Protein harvest index**
سال	Year	1	0.2^{ns}	0.008^{ns}	40.8^{ns}	11.7^{ns}
سال×تکرار	Year×Replication	4	0.005^{ns}	1.1^{ns}	11.6^{ns}	3.7^{ns}
تراکم باقلا	Faba bean density	4	0.7^{**}	3.9^{**}	50.7^{**}	142.5^{**}
تراکم باقلا×سال	Year×faba density density	4	0.04^{ns}	0.008^{ns}	0.02^{ns}	2.8^{ns}
کود نیتروژن	N fertilizer	3	1.1^{**}	11.8^{**}	104.3^{**}	71.0^{ns}
سال×کود نیتروژن	Year×N fertilizer	3	0.01^{ns}	0.008^{ns}	0.3^{ns}	3.4^{ns}
تراکم بوته باقلا×کود نیتروژن	Faba bean density ×N fertilizer	12	0.3^{**}	2.2^{**}	21.8^{**}	2.6^{*}
سال×کود نیتروژن×تراکم باقلا	Faba bean density ×N fertilizer ×Year	12	0.01^{ns}	0.008^{ns}	0.3^{ns}	0.9^{ns}
خطا	Erorr	76	0.05	1.2	19.2	4.5
ضریب تغییرات	C.V (%)	__	19.1	11.2	10.5	17.7
بارتلت	Bartlett	1	4.5^{ns}	0.062^{ns}	0.653^{ns}	0.497^{ns}

ns و * و **: به ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد

**, * and ns: Significantly difference at p< 0.01 and p< 0.05 and not significant respectively

جدول ۶- نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل تراکم باقلا و نیتروژن و مدل رگرسیونی سطوح نیتروژن بر پارامترهای اندازه‌گیری شده ذرت علوفه‌ای در تناوب با باقلا

Table 6. Mean of faba bean density and nitrogen levels interaction effects and regration equations of nitrogen levels on corn parameters at faba bean rotation

صفات Traits	تراکم بوته (بوته/مترمربع) Plant density	نیتروژن (کیلوگرم در هکتار) Nitrogen (kg ha^{-1})				معادله رگرسیون Reg. Eq.	R^2 ضریب تبیین
		0	100	200	300		
عملکرد خشک علوفه (کیلوگرم در مترمربع) Dry forage yield	0	0.9 ± 0.04^{g}	1.1 ± 0.03^{cdef}	1.2 ± 0.05^{cd}	1.1 ± 0.02^{cde}	$y = -0.000005\times N^2 + 0.0019\times N + 0.99$	0.900
	25	0.9 ± 0.05^{fg}	1.1 ± 0.06^{cdef}	1.2 ± 0.02^{bc}	1.0 ± 0.05^{defg}	$y = -0.00001\times N^2 + 0.0034\times N + 0.89$	0.960
	35	1.1 ± 0.03^{cdef}	1.2 ± 0.04^{bc}	1.4 ± 0.03^{b}	1.2 ± 0.07^{cde}	$y = -0.000008\times N^2 + 0.0028\times N + 1.07$	0.736
	40	1.2 ± 0.10^{bc}	1.4 ± 0.10^{b}	2.3 ± 0.03^{a}	0.9 ± 0.04^{defg}	$y = -0.00004\times N^2 + 0.012\times N + 1.05$	0.587
	80	1.0 ± 0.05^{defg}	1.2 ± 0.10^{c}	1.2 ± 0.05^{c}	1.4 ± 0.06^{b}	$y = 0.0012\times N + 1.02$	0.900
تعداد برگ در بوته Number of leaves	0	8.0 ± 0.4^{i}	8.7 ± 0.2^{h}	10.0 ± 0.3^{d}	10.3 ± 0.4^{b}	$y = 0.0082x + 8.02$	0.952
	25	9.0 ± 0.4^{g}	9.3 ± 0.2^{f}	10.0 ± 0.4^{d}	9.0 ± 0.4^{g}	$y = -0.00003\times N^2 + 0.0105\times N + 8.89$	0.669
	35	9.0 ± 0.4^{g}	10.3 ± 0.4^{b}	11.0 ± 0.6^{a}	9.7 ± 0.2^{e}	$y = -0.00007\times N^2 + 0.0223\times N + 8.93$	0.955
	40	9.7 ± 0.2^{e}	11.0 ± 0.6^{a}	11.0 ± 0.7^{a}	9.0 ± 0.4^{g}	$y = -0.00008\times N^2 + 0.0227\times N + 9.66$	0.991
	80	9.7 ± 0.4^{e}	10.0 ± 0.4^{d}	10.2 ± 0.3^{c}	10.3 ± 0.2^{b}	$y = -0.00004\times N^2 + 0.0136\times N + 9.00$	0.999
ارتفاع بوته Plant height (cm)	0	142.7 ± 1.5^{j}	165.2 ± 1.5^{f}	168.5 ± 1^{cde}	168.5 ± 1^{cde}	$y = -0.0006\times N^2 + 0.2495\times N + 143.5$	0.972
	25	158.2 ± 2.1^{i}	167.8 ± 1.7^{de}	169.2 ± 2^{c}	160.3 ± 1.1^{h}	$y = -0.0005\times N^2 + 0.1465\times N + 158.1$	0.997
	35	165.7 ± 1.4^{f}	169.7 ± 1.8^{c}	172 ± 1.7^{b}	167.3 ± 2.2^{e}	$y = -0.0002\times N^2 + 0.0724\times N + 165.44$	0.938
	40	169.5 ± 1.6^{c}	175.3 ± 1.9^{a}	175.8 ± 2.1^{a}	157.5 ± 1.5^{i}	$y = -0.0006\times N^2 + 0.1452\times N + 168.83$	0.958
	80	163.2 ± 0.8^{g}	168.8 ± 1.2^{cd}	165.6 ± 1.5^{f}	172.2 ± 1.6^{b}	$y = -0.0002\times N^2 + 0.0555\times N + 163.7$	0.754
شاخص برداشت پروتئین Protein harvest Index	0	5.5 ± 0.2^{j}	7.2 ± 0.2^{i}	8.2 ± 0.2^{i}	10.1 ± 0.7^{h}	$y = 0.0148\times N + 5.53$	0.987
	25	10.8 ± 0.3^{gh}	12.5 ± 0.3^{efg}	12.6 ± 0.3^{efg}	15.3 ± 0.5^{ab}	$y = 0.0136\times N + 10.76$	0.890
	35	11.1 ± 0.3^{fgh}	13.7 ± 0.5^{bcde}	14.5 ± 0.7^{bc}	16.3 ± 1.1^{a}	$y = 0.0164\times N + 11.44$	0.960
	40	12 ± 0.7^{efg}	12.9 ± 1.4^{def}	13.2 ± 0.7^{cde}	14.4 ± 0.9^{bc}	$y = 0.0075\times N + 12$	0.954
	80	11.9 ± 1.9^{fgh}	12.2 ± 0.6^{efg}	12.3 ± 1.6^{efg}	13.9 ± 0.5^{bcd}	$y = 0.00003\times N^2 - 0.0036\times N + 11.985$	0.940

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک تفاوت معنی‌داری با آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Similar letter in each column indicate no significant difference at 5% probability level using Duncan's multiple range test.

جدول ۷- نتایج تجزیه مرکب دو ساله برخی ویژگی‌های ذرت علوفه‌ای تحت تأثیر تراکم بوته باقلا و کود نیتروژن

Table 7. Results of combined analysis of variance on some traits of forage corn at faba bean plant densities and N fertilizer

منابع تغییرات	Source of variance	درجه آزادی df	شاخص کلروفیل Chlorophyll index	کارآیی جذب نیتروژن Nitrogen uptake efficiency	کارآیی فیزیولوژیک نیتروژن Nitrogen physiological efficiency
سال	Year	1	22.5^{ns}	575.5^{ns}	0.1^{ns}
سال×تکرار	Year×Replication	4	33.6^{ns}	310.3^{ns}	0.1^{ns}
تراکم باقلا	Faba bean density	4	283.4^{**}	5476.2^{**}	0.04^{ns}
تراکم باقلا×سال	Year×faba density density	4	1.8^{ns}	47.4^{ns}	0.02^{ns}
کود نیتروژن	N fertilizer	3	735.5^{**}	20264.5^{**}	0.3^{**}
سال×کود نیتروژن	Year×N fertilizer	3	0.3^{ns}	168.3^{ns}	0.01^{ns}
تراکم بوته باقلا×کود نیتروژن	Faba bean density×N fertilizer	12	224.1^{**}	7145.4^{**}	0.1^{**}
سال×کود نیتروژن×تراکم باقلا	Faba bean density×N fertilizer ×Year	12	0.7^{ns}	49.2^{ns}	0.01^{ns}
خطا	Erorr	76	150.7	179.1	0.02
ضریب تغییرات	C.V (%)	-	7.4	14.9	33.8
بارتلت	Bartlett	1	0.481^{ns}	0.063^{ns}	7.635^{ns}

ns، * و **: به ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد

**, * and ns: Significantly difference at $p< 0.01$ and $p< 0.05$ and not significant respectively

از سویی دیگر افزایش شاخص برداشت پروتئین را می‌توان به افزایش قابلیت دسترسی گیاهان به نیتروژن در سطوح بالاتر کود نسبت داد که باعث افزایش جذب این عنصر و تحریک سطح فتوسنتزکننده، افزایش رشد رویشی و تولید ماده خشک در گیاه می‌شود.

شاخص کلروفیل

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر تراکم باقلا، کاربرد نیتروژن و اثرات متقابل آنها بر شاخص کلروفیل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۷). نتایج مقایسات میانگین نیز نشان داد که تیمار تراکم ۴۰ بوته باقلا+کاربرد ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار دارای بیشترین میزان شاخص کلروفیل بود که نسبت به تیمار شاهد دارای افزایش ۲۷ درصدی بود (جدول ۸).

نتایج معادلات رگرسیونی تغییرات شاخص کلروفیل در مقادیر مختلف نیتروژن نیز نشان داد در تراکم‌های صفر تا ۸۰بوته باقلا تغییرات شاخص کلروفیل در اثر نیتروژن به صورت معادله درجه دوم با ضریب تبیین ۰/۴۶۱ تا ۰/۹۸۹ بود. با توجه به معادله خط به‌دست‌آمده مشخص شد که در شرایط عدم کاشت باقلا، مصرف نیتروژن تا ۲۸۹ کیلوگرم در هکتار باعث افزایش شاخص کلروفیل شد، ولی پس از این مقدار افت عملکرد مشاهده گردید.

همچنین در تراکم‌های ۲۵، ۳۵، ۴۰ و ۸۰ بوته باقلا شاخص کلروفیل به‌ترتیب پس از مقادیر ۲۴۱، ۲۴۶، ۱۳۸ و ۱۹۹ کیلوگرم نیتروژن در هکتار افت نشان داد (جدول ۸). نیتروژن از عناصر ضروری در ساختار کلروفیل است و چهار اتم نیتروژن در ساختار هر کلروفیل وجود دارد. با افزایش میزان نیتروژن در خاک و افزایش میزان جذب این عنصر توسط گیاهان میزان کلروفیل در برگ نیز افزایش خواهد یافت (Guler *et al*., 2006). Shoaei *et al*, (2009) بیان کردند که کشت لگوم‌ها به‌عنوان پیش‌کشت برای گیاهان غیرلگومی باعث بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی خاک و به‌خصوص نیتروژن در خاک می‌شود. Yoseftabar *et al*, (2012) گزارش کردند که استفاده از کود نیتروژن باعث افزایش شاخص کلروفیل در برنج شده است.

کارآیی جذب نیتروژن

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر تراکم باقلا، کاربرد نیتروژن و اثرات متقابل آنها بر کارآیی جذب نیتروژن در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۷). بر اساس نتایج مقایسات میانگین تیمارهای تراکم ۲۵ بوته باقلا+عدم کاربرد کود، تراکم ۳۵ بوته باقلا+عدم کاربرد کود و تراکم ۴۵بوته باقلا+عدم کاربرد کود دارای بیشترین میزان کارآیی جذب نیتروژن بودند (جدول ۸).

جدول ۸- نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل تراکم باقلا و نیتروژن و مدل رگرسیونی سطوح نیتروژن بر پارامترهای اندازه‌گیری شده ذرت علوفه‌ای در تناوب با باقلا

Table 8. Mean of faba bean density and nitrogen levels interaction effects and regration equations of nitrogen levels on corn parameters at faba bean rotation

صفات Traits	تراکم بوته (بوته/مترمربع) Plant density	نیتروژن (کیلوگرم در هکتار) Nitrogen (kg ha^{-1}) 0	100	200	300	معادله رگرسیون Reg. Eq.	ضریب تبیین R^2
Chlorophyll Index شاخص کلروفیل	0	36.5 ± 4^{k}	40.5 ± 4.4^{gh}	42.8 ± 3.3^{e}	41.3 ± 3.5^{f}	$y = -0.0001\times N^2 + 0.0579\times N + 36.395$	0.989
	25	38.7 ± 2.8^{j}	41 ± 2.5^{fg}	$43.3\pm 2.3d^{e}$	40 ± 4^{h}	$y = -0.0001\times N^2 + 0.0482\times N + 38.42$	0.861
	35	40.7 ± 2.5^{g}	43.7 ± 2^{d}	45.3 ± 2.8^{b}	42.8 ± 2.9^{e}	$y = -0.0001\times N^2 + 0.0492\times N + 40.565$	0.967
	40	43.8 ± 3^{d}	45.6 ± 2.3^{ab}	46.2 ± 2.3^{a}	38.7 ± 2.8^{j}	$y = -0.0002\times N^2 + 0.055\times N + 43.455$	0.931
	80	39.3 ± 1.9^{i}	44.5 ± 2^{c}	40.8 ± 2.2^{fg}	$40.8\pm 2.6f^{g}$	$y = -0.0001\times N^2 + 0.0398\times N + 39.93$	0.461
Nitrogen uptake efficiency (kg kg^{-1})کارآیی جذب نیتروژن	0	0^{j}	126 ± 7.5^{b}	77.1 ± 4.5^{f}	61.2 ± 4.3^{gh}	$y = -0.0035\times N^2 + 1.199\times N + 10.395$	0.733
	25	150.9 ± 7.5^{a}	102.3 ± 5.1^{d}	78.7 ± 5.3^{f}	57.7 ± 3.9^{gh}	$y = -0.3032\times N + 142.88$	0.955
	35	141 ± 3.8^{a}	102.3 ± 6.1^{c}	96.3 ± 5^{de}	66.8 ± 3.2^{g}	$y = -0.2286\times N + 135.89$	0.935
	40	147.7 ± 5.5^{a}	103.6 ± 2.7^{d}	89.2 ± 3.3^{e}	46.8 ± 2.6^{i}	$y = -0.3171\times N + 144.39$	0.967
	80	128.3 ± 5.6^{b}	93.5 ± 9.5^{de}	62.3 ± 8^{gh}	54.1 ± 2.4^{hi}	$y = -0.2538\times N + 122.62$	0.942
Nitrogen physiological efficiency (kg kg^{-1})کارآیی فیزیولوژیک نیتروژن	0	0^{g}	0.43 ± 0.1^{a}	0.4 ± 0.06^{a}	0.26 ± 0.06^{bc}	$y = -0.00001\times N^2 + 0.005\times N + 0.0175$	0.947
	25	0.15 ± 0.03^{cdef}	0.14 ± 0.04^{cdef}	0.2 ± 0.02^{bcd}	0.05 ± 0.01^{efg}	$y = -0.000004\times N^2 + 0.0008\times N + 0.136$	0.665
	35	0.17 ± 0.03^{bcde}	0.17 ± 0.03^{bcde}	0.21 ± 0.02^{bcd}	0.11 ± 0.04^{cdef}	$y = -0.000003\times N^2 + 0.0006\times N + 0.161$	0.682
	40	0.24 ± 0.02^{bc}	0.25 ± 0.02^{bc}	0.27 ± 0.03^{b}	0.02 ± 0.01^{fg}	$y = -0.000007\times N^2 + 0.0013\times N + 0.226$	0.905
	80	0.07 ± 0.03^{defg}	0.18 ± 0.05^{bcde}	0.21 ± 0.05^{bcd}	0.18 ± 0.06^{bcde}	$y = -0.000004\times N^2 + 0.0014\times N + 0.071$	0.998

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک تفاوت معنی‌داری با آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Similar letter in each column indicate no significant difference at 5% probability level using Duncan's multiple range test.

نتایج معادلات رگرسیونی تغییرات کارآیی جذب نیتروژن در مقادیر مختلف نیتروژن نشان داد در تراکم صفر بوته باقلا تغییرات کارآیی جذب در اثر نیتروژن به‌صورت معادله درجه دوم با ضریب تبیین ۰/۷۳۳ بود و در تراکم‌های ۲۵ تا ۸۰ بوته باقلا تغییرات کارآیی جذب در اثر نیتروژن به صورت معادله خطی با ضریب تبیین ۰/۹۳۵ تا ۰/۹۶۷ بود. با توجه به معادله خط به‌دست‌آمده مشخص شد که در شرایط عدم کاشت باقلا، مصرف نیتروژن تا ۱۷۱ کیلوگرم در هکتار باعث افزایش کارآیی جذب شد، ولی بعد از این مقدار افت عملکرد مشاهده گردید. همچنین مشاهده شد که در تراکم ۲۵ تا ۸۰ بوته باقلا، مصرف نیتروژن موجب کاهش خطی کارآیی جذب نیتروژن شد. با توجه به شیب معادله در تراکم‌های ۲۵، ۳۵، ۴۰ و ۸۰ بوته باقلا به ازای هر ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار کارآیی جذب نیتروژن، به ترتیب ۳۰، ۲۲، ۳۱ و ۲۵ کیلوگرم در کیلوگرم کاهش پیدا می‌کند (جدول ۸). Tariq Jan *et al*, (2010) نشان دادند که آزادسازی تدریجی نیتروژن (نیتروژن آزادشده از بقایای گیاهی و گیاهان کود سبز) نسبت به آزادسازی سریع آن (نیتروژن آزادشده از کودهای شیمیایی) باعث افزایش کارآیی جذب نیتروژن در گندم شد. Aulakh *et al*, (2012) در گزارشی بیان کردند که استفاده از سویا در تناوب به همراه حفظ بقایای گیاهی آن در مزرعه منجر به افزایش کارآیی جذب نیتروژن در گندم شد. در حالی که Lopez *et al*., (2001) در بررسی تناوب‌های مختلف زراعی نظیر گندم - آفتابگردان، گندم- نخود، گندم- باقلا، گندم- آیش و گندم - گندم و سطوح مختلف کود نیتروژن (۰، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) تحت سیستم‌های بدون شخم و شخم فشرده دریافتند که در سیستم‌های تک‌کشتی و سطوح پایین نیتروژن، کمترین میزان جذب نیتروژن در گندم مشاهده شد.

کارآیی فیزیولوژیک نیتروژن

بر اساس نتایج تجزیه واریانس مرکب، اثر کود نیتروژن و اثر متقابل تراکم باقلا و کود نیتروژن بر کارآیی فیزیولوژیک نیتروژن در سطح یک درصد معنی‌دار شد، اما اثر ساده تراکم باقلا بر این صفت تفاوت معنی‌داری نشان نداد (جدول ۷). نتایج مقایسات میانگین نشان داد که بیشترین کارآیی فیزیولوژیک نیتروژن در ذرت علوفه‌ای در تیمارهای عدم کشت باقلا+کاربرد ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌دست آمد (جدول ۸). نتایج معادلات رگرسیونی تغییرات کارآیی فیزیولوژیک نیتروژن در مقادیر مختلف نیتروژن نیز نشان داد در تراکم‌های صفر تا ۸۰ بوته باقلا تغییرات کارآیی فیزیولوژیک در اثر نیتروژن به‌صورت معادله درجه دوم با ضریب تبیین ۰/۶۶۵ تا ۰/۹۹۸ بود. با توجه به معادله خط به‌دست‌آمده مشخص شد که در شرایط عدم کاشت باقلا، مصرف نیتروژن تا ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار باعث افزایش کارآیی فیزیولوژیک شد ولی بعد از این مقدار، افت عملکرد مشاهده گردید. همچنین در تراکم‌های ۲۵، ۳۵، ۴۰ و ۸۰ بوته باقلا کارآیی فیزیولوژیک به ترتیب پس از مقادیر ۱۰۰، ۱۰۰، ۹۳ و ۱۷۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار افت نشان داد (جدول ۸). با توجه به نتایج به‌دست آمده به نظر می‌رسد که در تیمارهای استفاده از باقلا در تناوب به همراه کاربرد کود نیتروژن، نیتروژن به صورت کامل توسط ذرت مورد استفاده قرار نمی‌گیرد و بخشی از آن از دسترس گیاه خارج می‌شود که به دنبال آن کارآیی فیزیولوژیک نیتروژن در گیاه کاهش می‌یابد. Hasanalideh & Hojati (2012) نیز گزارش کردند که با افزایش مقدار نیتروژن در کلزا، کارآیی فیزیولوژیک نیتروژن کاهش یافت.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که کاربرد تلفیقی کود شیمیایی نیتروژن و قرارگیری باقلا در سیستم تناوبی می تواند به عنوان روشی مناسب در جهت افزایش عملکرد خشک علوفه ذرت مورد استفاده قرار گیرد. به عبارت دیگر به نظر می-رسد قرارگیری باقلا در تناوب و حفظ بقایای آن در خاک از طریق افزایش نیتروژن خاک، باعث افزایش عملکرد و اجزای عملکرد در ذرت علوفه‌ای گردید. با توجه به نتایج حاصل از این آزمایش و معادلات رگرسیونی، تراکم ۴۰ بوته باقلا+۲۰۰کیلوگرم نیتروژن در هکتار نسبت به سایر تیمارها، ضمن کاهش مصرف کود نیتروژن، باعث افزایش عملکرد در ذرت علوفه‌ای شد، در نتیجه در مکان‌هایی با شرایط آب و هوایی مشابه استفاده از این تیمار توصیه می‌شود.

منابع

1. Abbasi, M.K., Khaliq, A., Shafiq, M., Kazmi, M., and Imran, A. 2010. Comparatative effectiveness of urea N, poultry manure and their combination in changing soil properties and maize productivity under rainfed conditions in northeast Pakistan. Experimental Agriculture 46: 211-230.
2. Afzal, M., Ahmad, A., and Ahmad, A.U. H. 2012. Effect of nitrogen on growth and yield of sorghum forage under three cutting system. Cercetari Agronomice in Moldova 4(152): 57-64.

3. Afzalinia, S., and Zabihi, J. 2014. Soil compaction variation during corn growing season under conservation tillage. Soil and Tillage Research 137: 1-6.
4. Al-Suhaibani, N., El-Hendawy, S., and Schmidhalter, U. 2013. Influence of varied plant density on growth, yield and economic return of drip irrigated Faba bean (*Vicia faba* L.). Turkish Journal of Field Crops 18(2): 185-197.
5. Ansarinia, E. 2010. Effect of irrigation and nitrogen levels on yield and agronomical traits of sunflower. MSc. Thesis in Agriculture. Department of Agriculture, Azad University of Birjand, Iran. (in Persian).
6. Aulakh, M.S., Manchanda, J.S., Garg, A.K., Kumar, S., Dercon, G., and Nguyen, M. 2012. Crop production and nutrient use efficiency of conservation agriculture for soybean-wheat rotation in the Indo-Gangetic Plains of Northwestern India. Soil & Tillage Research 120: 50-60.
7. Berkenkamp, B., and Meeres, J. 1986. Faba bean as forage in the parklands of Alberta. Canadian Journal of Plant Science 66: 167-169.
8. Beslemes, D.F., Tigka, E.L., Efthimiadis, P., and Danalatos, N.G. 2013. Maize biomass production, N-use efficiency and potential bioethanol yield, under different cover cropping managements, nitrogen Influxes and soil types, in Mediterranean climate. Journal of Agriculture Science 5(7): 189-205.
9. Chen, Y., and Barak, Ph. 1982. Iron nutrition of plants in Calcareous soils. Advances in Agronomy 35: 217-240.
10. Chen, Z.M., Wang, Q., Wang, H.Y., Bao, L., and Zhou, J.M. 2018. Crop yields and soil organic carbon fractions as influenced by straw incorporation in a rice-wheat cropping system in southeastern China. Nutrient Cycling in Agroecosystems 112: 61-73.
11. Demari, G.H., Ca, I.R., Monteiro, C.J.B., and T Pedó, T. 2016. Importance of NITR. Journal of Current Research 8(08): 36629-36634.
12. Dolatmand Shahri, N., and Tahmasebi, I. 2017. Effect of nitrogen and plant density on photosynthetic capacity, yield components and seed yield of Corn cultivar ‘Mv500’ in summer planting. Journal of Crop Production and Processing 7(1): 87-99.
13. El-Gizawy, N.Kh.B. 2009. Effects of nitrogen rates and plant density on agronomic nitrogen use efficiency and maize yield following wheat and Faba bean. American-Eurasian Journal of Agriculture and Environ Science 5(3): 378-386.
14. Entz, M.H., Baron, V.S., Carr, P.M., Meyer, D.W., Smith, S.R., and McCaughey, W.P. 2002. Potential of forages to diversify cropping systems in the Northern Great Plains. Agronomy Journal 94: 240-250.
15. Etemadi, F., Hashemi, M., Zandvakili, O., and Sadeghpour, A. 2018. Nitrogen contribution from winter-killed faba bean cover crop to spring-sown sweet corn in conventional and no-till systems. Agronomy Journal 110(2): 455-462.
16. Gan, Y.T., Miller, P.R., Mc Conkey, B.G., Zentner, R.P., Liu, P.H., and McDonald, C.L. 2003. Optimum plant population density for chickpea and dry pea in a semiarid environment. Canadian Journal of Plant Science 83: 1-9.
17. Gezahegn, M.A. 2019. Review on effect of plant density and planting arrangement on faba bean production. World Journal of Agricultural Sciences 15(4): 261-268.
18. Ghazvineh, S., and Yousefi, M. 2012. Study the Effect of micronutrient application on yield and yield components of Maize. American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences 12(2): 144-147.
19. Guler, S., Hayriye Ibrikci, H., and Buyuk, G. 2006. Effects of different nitrogen rates on yield and leaf nutrient contents of drip-fertigated and greenhouse-grown cucumber. Asian Journal of Plant Science 5(4): 657-662.
20. Hamzei, J., Seyedi, M., and Babaei, M. 2015. Effect of density and nitrogen on seed quantity and quality of winter rapeseed in Hamedan conditions. Crop Production 8(1): 143-159. (in Persian).
21. Harries, E., Carmona, L., Muñoz, A., Ibeas, J.I., Read, N.D., Gandía, M., and Marcos, J.F. 2013. Genes involved in protein glycosylation determine the activity and cell internalization of the antifungal peptide PAF26 in Saccharomyces cerevisiae. Fungal Genetics and Biology 58: 105-115.
22. Hasanalideh, A.H., and Hojati, M. 2012. Enhancing yield and nitrogen use efficiency of *Brassica Napus* L. using an integrated fertilizer management. Advances in Environmental Biology 6(2): 641-647.
23. Hatfield, J.L., and Prueger, J.H. 2004. Nitrogen over-use, under-use, and efficiency. Crop Science 26: 156-168.
24. Huggins, D.R., and Pan, W.L. 1993. Nitrogen efficiency component analysis: an evaluation of cropping system differences in productivity. Agronomy Journal 85: 898-905.

25. Iqbal, M.S., Hafeez, M.N., Wattoo, J.I., Ali, A., Sharif, M.N., and Rashid, B. 2016. Prediction of host-derived miRNAs with the potential to target PVY in potato plants. Front Genetics 7: 159.
26. Issaka, F., Zhang, Z., Zhao, Z.Q., Asenso, E., Li, J.H., and Li, Y.T. 2019. Sustainable conservation tillage improves soil nutrients and reduces nitrogen and phosphorous losses in maize farmland in Southern China. Sustainability 11: 2397.
27. Jensen, E.S., Peoples, M.B., and Hauggaard-Nielsen, H. 2010. Faba bean in cropping systems. Field Crop Research 115: 203-216.
28. Kebede, M., Sharma, J.J., Tana, T., and Nigatu, L. 2015. Effect of plant spacing and weeding frequency on weed infestation, yield components, and yield of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in Eastern Ethiopia. East African Journal of Sciences 9: 1-14.
29. Khalghani, J., and Koocheki, A. 1996. Understanding the Basics of Crop Production (Ecophysiological Approach). Ferdowsi University of Mashhad Press. 369 p.
30. Khalil, S.K., Wahab, A., Rehman, A., Muhammad, F., Wahab, S., Khan, A.Z., Zubair, M., Shah, M.K., Khalil, I.H., and Amin, R. 2010. Density and planting date influence phenological development assimilate partitioning and dry matter production of faba bean. Pakistan Journal of Botany 42(6): 3831-3838.
31. Lamptey, S., Li, L., and Yeboah, S. 2018. Reduced tillage practices without crop retention improved soil aggregate stability and maize (*Zea mays* L.) yield. Ghana Journal of Horticulture 13(1): 50-69.
32. Lamptey, S., Yeboah, S., and Li, L. 2018. Response of maize forage yield and quality to nitrogen fertilization and harvest time in semi-arid Northwest China. Asian Journal of Research in Agriculture and Forestry 1: 1-10.
33. Liu, G.Z., Hou, P., Xie, R.Z., Ming, B., Wang, K.R., Xu, W.J., Liu, W.M., Yang, Y.S., and Li, S.K. 2017. Canopy characteristics of high-yield maize with yield potential of 22.5 Mg ha $^{-1}$. Field Crops Research 213: 221-230.
34. Liu, S., Xing, J., Westervelt, D.M., Liu, S., Ding, D., Fiore, A.M., Kinney, P.L., Zhang, Y., He, M.Z., Zhang, H., Sahu, S.K., Zhang, F., Zhao, B., and Wang, S. 2021. Role of emission controls in reducing the 2050 climate change penalty for $PM_{2.5}$ in China. Science Total Environment 765: 144338.
35. Lopez-Bellido, L., Lopez-Bellido, R.J., Castillo, J.E., and Lopez-Bellido, F.J. 2001. Effects of long-term tillage, crop rotation and nitrogen fertilization on bread-making quality of hard red spring wheat. Field Crops Research 72: 197-210.
36. Maadi, B., Fathi, G., Siadat, S.A., Alami Saeid, K., and Jafari. S. 2012. Effects of preceding crops and nitrogen rates on grain yield and yield components of wheat (*Triticum aestivum* L.). World Applied Sciences Journal 17(10): 1331-1336.
37. Mohamed, S.S.E., and Babiker, H.M. 2012. Effects of Rhizobium inoculation andurea fertilization on faba bean (*Vicia faba* L.) production in a semi-desert zone. Advances in Environmental Biology 6: 824-830.
38. Naderi, F., Siadat, S.A., and Rafiee, M. 2010. Effect of planting date and plant density on grain yield and yield components of two maize hybrids as second crop in Khorram Abad. Iranian Journal of Crop Sciences 12: 31-41. (in Persian with English abstract).
39. Ojiem, J.O., Franke, A.C., Vanlauwe, B., de Ridder, N., and Giller, K.E. 2014. Benefits of legume-maize rotations: assessing the impact of diversity on the productivity of smallholders in Western Kenya. Field Crop Research 168: 75-85.
40. Olojugba, M.R., and Ibiloye, J.O. 2019. Inter and active effect of tillage and nitrogen fertilizer on Maize (*Zea mays* L.) performance on a humid Alfisol Southwestern, Nigeria. Asian Journal Soil Science and Plant Nutrition 1-11.
41. Perry, L.J., and Compton, W.A. 1977. Serial measures of dry matter accumulation and forage quality of leaves, stalks and ear of three maize hybrids. Agronomy Journal 69: 751-755.
42. Prusiński, J. 2022. Effect of row spacing and plant density on the yield of Faba bean under very differentiated humidity conditions. Journal of Agricultural Science 14(1): 1-10.
43. Sangoi, L., Ernani, P.R., and Da Silva, P.R.F. 2007. Maize response to nitrogen fertilization timing in two tillage systems in a soil with high organic matter content. Revista Brasileira de Ciência do Solo 31: 507-517.
44. Seyedi, M., Hamzei, J., Ahmadvand, G., and Abutalebian, M.A. 2012. The evaluation of weed suppression and crop production in barley-chickpea intercrops. Sustainable Agricultural and Production Science 22(3): 101-114. (in Persian with English abstract).
45. Shoaei, Sh., Rafiei, F., and Kashani, A. 2009. Effect of crop rotation and nitrogen fertilizer on N, P, K concentration and wheat yield. New Agricultural Science 5(17): 27-36. (in Persian with English abstract).

46. Siczek, A., and Lipiec, J. 2016. Impact of Faba bean-seed Rhizobial inoculation on microbial activity in the rhizosphere soil during growing season. International Journal of Molecular Sciences 17: 784.
47. Singh, A.K., Bhatt, B.P., Sundaram, P.K., Gupta, A.K., and Singh, D. 2013. Planting geometry to optimize growth and productivity in faba bean (*Vicia faba* L.) and soil fertility. Journal of Environmental Biology 34(1): 117.
48. Tadayyon, M.R., and Ghorbaninejad, A.J. 2012. Effect of supplementary irrigation and compost application on morphological triats and yield of two chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars. Iranian Journal of Pulses Research 3(2): 31-44. (in Persian with Enlish abstract).
49. Tariq Jan, M., Jamal Khan, M., Khani, A., Arifi, M., Shafi, M., and Farmanullah, H. 2010. Wheat nitrogen indices response to nitrogen source and application time. Pakistan Journal of Botany 42 (6): 4267-4279.
50. Tolera, A., Daba, F., and Friesen, D.K. 2009. Effects of crop rotation and N-P fertilizer rate on grain yield and related characteristics of Maize and soil fertility at Bako Western Oromia, Ethiopia. East African Journal of Science 3: 70-79.
51. Uzoh, I.M., Arizechukwu Igwe, Ch., Okebalama, C.B., and Babalola, O.O. 2019. Legume-maize rotation effect on maize productivity and soil fertility parameters under selected agronomic practices in a sandy loam soil. Scientific Reports 9: 8539.
52. Vesterager, J.M., Nielsen, N.E., and Hogh-Jensen, H. 2007. Nitrogen budgets in a crop sequences with or without phosphorus fertilized cowpea in the maize based cropping 104 system of semi-arid eastern Africa. African Journal of Agricultural Research 2(6): 261-268.
53. Wasaya, A., Tahir, M., Yasir, T.A., Akram, M., Farooq, O., and Sarwar, N. 2018. Soil physical properties, nitrogen uptake and grain quality of maize (*Zea mays* L.) as affected by tillage systems and nitrogen application. Italian Journal of Agronomy 13(4): 324-331.
54. Xiao, K., Xu, J., Tang, C., Zhang, J., and Brookes, P.C. 2013. Differences in carbon and nitrogen mineralization in soils of differing initial pH induced by electro kinesis and receiving crop residue amendments. Soil Biology & Biochemistry 67: 70-84.
55. Yoseftabar, S., Fallah, A., and Daneshian, J. 2012. Effect of split application of nitrogen fertilizer on spad valuse in hybrid rice. International Journal of Agriculture and Crop Sciences 4: 647-651.

Iranian Journal of Pulses Research
Homepage: **https://ijpr.um.ac.ir**
Vol. 13, No. 2, December 2022, p. 121-138 (Original Research Article)

Nitrogen fertilizer and faba bean density as sources of nitrogen supply in sustainable production of forage corn

Ghorbi[1], Samaneh; Ebadi[2*], Ali; Khomari[3], Saeid; and Hashemi[4], Masoud

1. PhD. Candidate of Agronomy, Agronomy, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran; smn.ghorbi.ch@gmail.com; ORCID: 0000-0002-0125-5924
2. Professor, Agronomy, Crop Physiology, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran; ali.ebadi.khazineh@gmail.com; ORCID: 0000-0002-6486-6757
3. Associate Professor, Agronomy, Crop Physiology, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran; saeid.khomari@gmail.com; ORCID: 0000-0002-4926-5320
4. Professor, Agronomy, Crop Physiology, Stockbridge School of Agriculture, University of Massachusetts, Amherst, MA, USA; masoud@umass.edu; ORCID: 0000-0002-6126-4208

The Dates:
Received: 12 February 2022; **Revised:** 11 July 2022
Accepted: 27 June 2022; **Available Online:** 5 September 2022

How to cite this article:
Ghorbi, S., Ebadi, A., Khomari, S., and Hashemi, M. 2022. The use of nitrogen fertilizer and faba bean density as sources of nitrogen supply in sustainable production of forage corn. Iranian Journal of Pulses Research 13(2): 121-138. (in Persian with English abstract). DOI: 10.22067/ijpr.v13i2.2202-1025

Introduction

Some studies have reported that application of chemical fertilizers, especially nitrogen, is one of the most appropriate methods to increase crop production and maintain food security in the world. However, it should also be noted that the improper use of nitrogen fertilizers can disrupt natural ecosystems. Alternative methods can be used to prevent this, such as the use of plants with biological nitrogen fixation (e.g., legumes). Faba bean is one of the most important varieties of this family (Fabaceae) and contains 24-30% protein and 51-68% carbohydrates. This plant is one of the most important spices of the genus (*Vicia*) and has a high yield compared to other legumes. Due to its environmental, economic and agroecological performance, faba bean can improve the sustainability of agricultural ecosystems. Corn (*Zea mays* L.) is one of the most important annual cereals. However, maize cultivation is not economical because it requires nitrogen fertilizer, and improper use of nitrogen also increases ecosystem instability. Incorporating legumes into cropping systems is critical for sustainable management of agricultural systems and reducing nitrogen fertilizer requirements for corn production.

Materials and Methods

A two-year experiment was conducted in 2018-2019 as a factorial experiment based on a randomized complete block design with three replications at the research farm of the Faculty of Agriculture and Natural Resources, university of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. The experimental treatments were different plant densities of faba bean (25, 35, 40 and 80 plants m^{-2}) and different nitrogen fertilizer rates (0, 100, 200 and 300 kg ha^{-1}) of forage corn. In this experiment, the faba bean variety Shadan was planted and manually harvested at the physiological maturity stage. The corn variety was a single cross hybrid 201, which was planted at a density of 80000 plants ha^{-1} in the rows with faba bean residues. At the V_5 stage of corn, N fertilizer (as urea) was applied in 3 stages. Three corn plants were harvested at the milk stage and then oven dried at 70°C for 72 h and weighed. Traits studied in this experiment included chlorophyll index, plant height, root nodule dry weight, root dry weight, number of root nodules, and grain yield in faba bean, and chlorophyll index, protein harvest index, plant height, number of leaves per plant, physiological nitrogen

* **Corresponding Author:** ali.ebadi.khazineh@gmail.com

efficiency, nitrogen uptake efficiency, and dry matter yield in forage corn. Statistical analysis of data was performed using SAS 9.4 software, and significant differences between treatment means were tested using the Duncan's Multiple Range Test at $P< 0.05$.

Results and Discussion

Faba bean

The highest grain yield (g m^{-2}), plant height (cm) and chlorophyll index of faba bean were obtained at the density of 80 plant m^{-2}. At the densities of 25 and 35 plants m^{-2}, the number of root nodules and the dry weight of root nodules (g) were the highest. As plant density increased, root dry weight (g m^{-2}) also increased, so that the density of 80 plants m^{-2} had the highest root dry weight per m^2. The highest fertility rate was observed at the densities of 80 and 40 plants m^{-2}.

Corn

Our results showed that the interaction between faba bean density and N fertilizer had effects on plant height, chlorophyll index, protein harvest index, physiological nitrogen efficiency, nitrogen uptake efficiency, and dry forage yield. The results of the mean comparisons showed that the highest dry forage yield was obtained at the density of 40 faba bean plants+200 kg N ha^{-1} an increase of 155% over the control treatment. The highest number of leaves was observed in the treatments at the density of 40 faba bean plants+100 kg N ha^{-1}, at the density of 40 faba bean plants+200 kg N ha^{-1} and at the density of 35 faba bean plants+200 kg N ha^{-1}. The density of 40 plant of faba bean+100 kg N ha^{-1} and the density of 40 plant of faba bean+200 kg N ha^{-1} had the highest plant height. The highest chlorophyll index was obtained at the the density of 40 faba bean plants+200 kg N ha^{-1}. Finally, the results showed that employment of faba bean in rotation and non-application of nitrogen fertilizer increased nitrogen uptake efficiency of forage corn.

Conclusion

Comparison of the different treatments showed that the density of 40 plants of faba bean and 200 kg N ha^{-1} was superior in most of the evaluated traits. Overall, the results suggest that the use of faba bean in crop rotation is an appropriate approach to reduce the use of chemical fertilizers in agricultural systems, according to the results, the use of the density of 40 plants of faba bean and 200 kg N ha^{-1} were recommended under the same weather conditions.

Keywords: Chemical fertilizer، Legumes، Nitrogen uptake efficiency، No-till system